



III-246 – EMISSÃO DE GASES DE CAMADA DE COBERTURA DO ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE AGUAZINHA – PE

Maria Odete Holanda Mariano⁽¹⁾

Professora Adjunta do Núcleo de Tecnologia do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE. Doutora pela Universidade Federal de Pernambuco. Especialista na área de resíduos sólidos urbanos. Pesquisadora do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE.

José Fernando Thomé Jucá

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS. Coordenador dos Projetos PRONEX, PROSAB e CHESF na área de resíduos sólidos urbanos.

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Navegantes nº 1541 ap. 701. Boa Viagem – Recife –PE. CEP: 51020-010. Telefone: 81-96559091 ou 81-33262638 e-mail: odete@ufpe.br

RESUMO

A camada de cobertura de aterros de resíduos sólidos (ARS) tem a finalidade de isolar a massa de resíduos do meio ambiente, evitando assim a emissão de gases tóxicos e de efeito estufa para a atmosfera e reduzir a entrada de água na massa de resíduos. Sendo assim, a mesma possui grande importância no controle dos impactos ambientais causados pela operação de ARS. Este trabalho tem como objetivo apresentar o fluxo de gases através de uma camada de cobertura convencional e sem cobertura vegetal e a influência dos parâmetros geotécnicos do solo para a avaliação eficiência da retenção de gases pela camada de cobertura de ARS. Esta pesquisa foi realizada durante um período de 2 anos, incluindo estações chuvosas e seca, e utilizando como campo experimental o Aterro de Aguazinha, Olinda, Pernambuco.

PALAVRAS CHAVES: camada de cobertura, caracterização geotécnica, retenção de gases, ensaios de campo, ensaios de laboratórios.

INTRODUÇÃO

As camadas de cobertura das células dos aterros de resíduos sólidos urbanos funcionam como um isolante entre a massa de resíduos e o ambiente externo. Esta camada também é responsável por evitar a entrada de água na massa de resíduos, bem como, a saída de gases para a atmosfera. Esses fatos por si só, revelam a importância do correto dimensionamento e da adequada execução destes elementos dos aterros.

Atualmente, além de ser a principal forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos, os aterros sanitários estão sendo utilizados como fonte de geração de energia ou ao menos como item que reduz o potencial de contaminação do ar e o efeito estufa.

O gás metano (CH₄) é o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, atrás apenas do dióxido de carbono (CO₂) entre as emissões antrópicas de gases do efeito estufa. Estima-se que o CH₄, seja 21 vezes mais prejudicial que o CO₂ no aprisionamento de calor na atmosfera (MCT, 2008).

Neste sentido, as camadas de cobertura das células dos aterros para RSU funcionam como um isolante entre a massa de resíduos e o ambiente externo. Dessa forma, tornam-se parte de fundamental importância no projeto e no bom desempenho dos aterros (SIMON e MULLER, 2004). Essa camada também é responsável por evitar a entrada de água no interior da massa de resíduos, bem como, a saída de gases para a atmosfera. Esses fatos por si só, revelam a importância do correto dimensionamento e da adequada operação de construção destes elementos dos aterros.

A camada de cobertura deve possuir uma série de características como, por exemplo, baixa permeabilidade à água e durabilidade, ao longo do tempo. Normalmente, estes sistemas convencionais são confeccionados com uso de materiais argilosos que são dispostos sobre os RSU para obtenção de uma camada de espessura considerável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo sobre a eficiência da retenção de gases por camadas de cobertura foi realizado no aterro de resíduos sólidos de Aguazinha-PE situa-se no Município de Olinda, zona norte da Região Metropolitana do Recife (RMR). A Figura 1 ilustra a localização do Município de Olinda em relação ao Estado de Pernambuco e ao Brasil.

O município de Olinda possui uma área de 40.83 Km² e população de 368.666 habitantes (IBGE, 2000), cuja parcela urbana é 361.323 habitantes e a rural 7.343 habitantes, o que corresponde a 98% e 2% respectivamente.

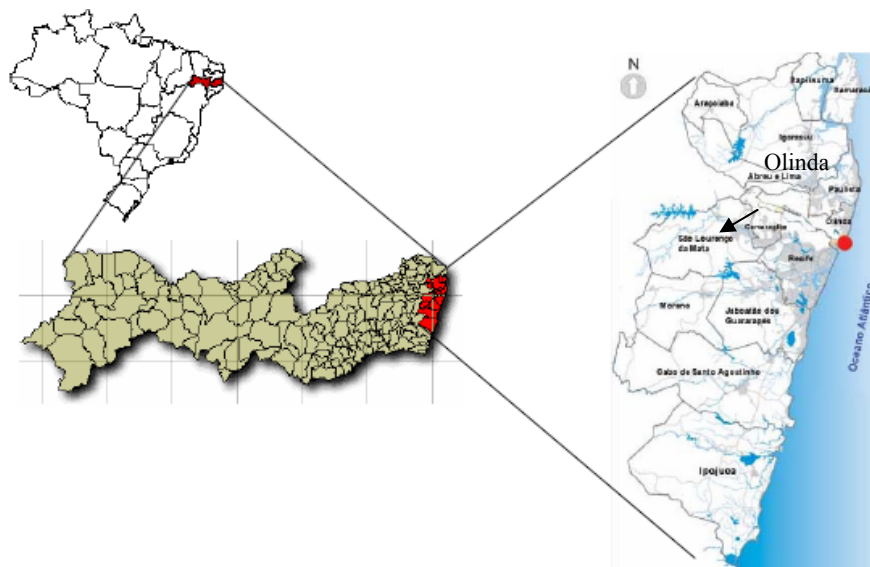


Figura 1 – Localização do Município de Olinda (Fonte: Santana, 2006)

O aterro de resíduos sólidos de Aguazinha-PE recebe diariamente, em média 400 toneladas de resíduos sólidos urbanos, sólidos volumosos (entulhos e raspagens) e resíduos de poda correspondendo a um total aproximado de 12.000 toneladas/mês.

A pesquisa desenvolvida teve como finalidade avaliar a influência dos principais índices, propriedades e parâmetros do solo na retenção dos gases pela camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos. Neste sentido foram realizados 19 ensaios de campo em toda a área da Célula nº 1 do aterro com coleta de amostras de solo para ensaios laboratoriais.

Os ensaios de campo corresponderam: a) placa de fluxo estática para determinação do fluxo pela camada de cobertura; b) medição da concentração e pressão dos gases no contato solo-resíduo por meio do Dispositivo de Medição de Pressão e Concentração (DMCP); c) determinação da espessura da camada de cobertura; d) coleta de material para ensaios de laboratório.

A investigação geotécnica de laboratório consistiu na realização de ensaios em todas as 19 amostras de solo coletadas para caracterização do solo de cobertura (análise granulométrica, limites de consistência, peso específico dos grãos, compactação Proctor Normal e permeabilidade a água e ao ar) com o objetivo de correlacionar as características e propriedades dos solos com a retenção de gases pela camada de cobertura.

A Figura 2 apresenta uma vista geral do aterro enquanto que a Figura 3 apresenta a localização dos locais dos ensaios de campo e de coleta de solo para ensaios geotécnicos.



Figura 2 – Vista Geral do Aterro

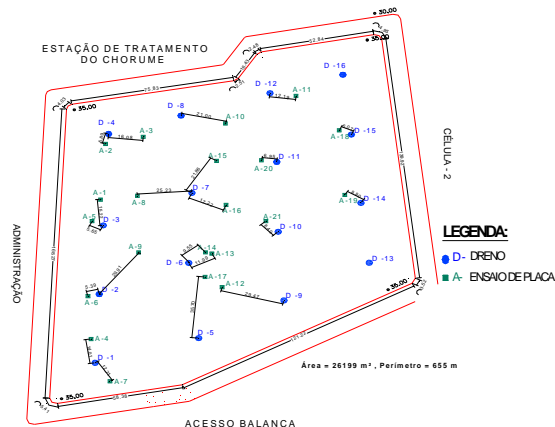


Figura 3 – Localização dos pontos de ensaio e coleta de solo

RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios de campo tiveram como finalidade determinar as emissões de gases pela camada de cobertura, determinação da espessura de solo, concentração e pressão do biogás no contato solo-resíduo, coleta de material para ensaios de laboratório, enquanto que os ensaios de laboratório serviram para caracterizar o solos e avaliar suas propriedades geotécnicas.

FLUXO DE METANO PELA CAMDA DE COBERTURA

A medição do fluxo de gases pela camda de cobertura foi realizada por meio do equipamento de placa de fluxo estática acoplado a medidores de concentração dos gases e de temperatura.

No topo da caixa existem duas conexões de saída (tipo encaixe rápido) onde são conectados os equipamentos de medição de gases e pressão, por meio de uma mangueira flexível de polietileno. A Figura 4 apresenta os equipamentos e utilizados e a realização das leituras de concentração dos gases com o tempo.



(a) Equipamentos utilizados



(b) Leitura da concentração dos gases

Figura 4 –Leitura da placa de fluxo

A partir dos dados obtidos em cada ensaio, determinou-se o fluxo mássico de gás conforme a Equação abaixo

$$J = \frac{V_p \rho_{gás}}{A} \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad [M.L^{-1}.T^{-1}]$$

Equação 1

onde: V_p = Volume da placa = 0,008m³, A = Área da Placa = 0,16 m², $\rho_{gás}$ = Densidade do gás a uma dada temperatura [M.L⁻³], $\Delta C/\Delta t$ = Variação da concentração do gás (% vol.) com o tempo.

O fluxo mássico foi calculado no intervalo inicial do ensaio para se obter a maior taxa de percolação do gás pela camada de cobertura, simulando a condição do aterro de resíduos, onde a camada de cobertura fica em contato com a atmosfera e conseqüentemente ocorrem os gradientes máximos de pressão e concentração. A Figura 5 apresenta o esquema adotado para o cálculo do fluxo e a Tabela 1 apresenta o Fluxo de CH₄ pela camada de cobertura.

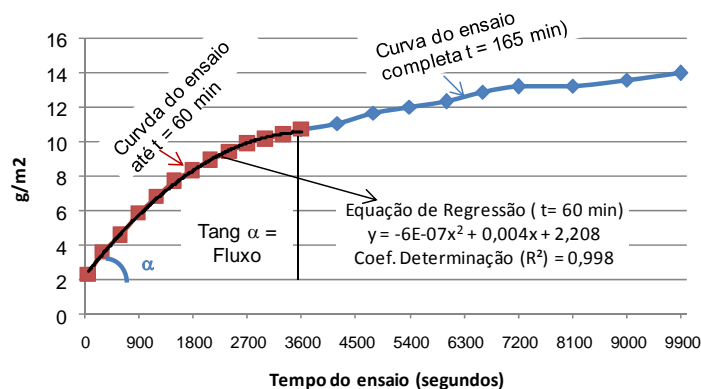
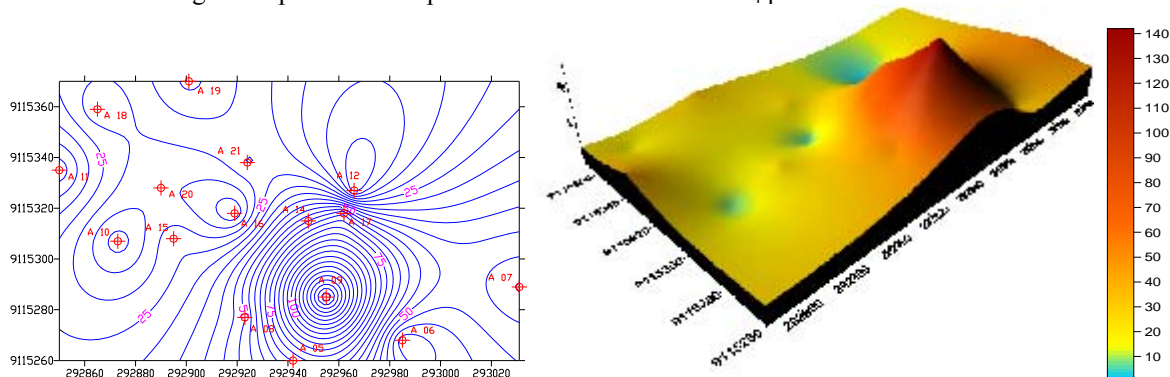


Figura 5 – Esquema do cálculo de fluxo

Tabela 1 – Faixa de massa e fluxo

Faixa do Ensaio	Ensaio	Quantidade de CH ₄ na Placa de Fluxo (g)	Fluxo de CH ₄ (kg/m ² .ano)
Faixa 1	A2, A12, A13 e A15	< 0,1	0
Faixa 2	A1, A3, A4, A10, A14, A18 e A20	entre 0,1 e 0,5	entre 5 e 25
Faixa 3	A5, A6, A7, A8, A9, A11, A19 e A21	> 0,5	> 25

O fluxo total de CH₄ pelo topo da camada de cobertura corresponde à média do fluxo de todos os ensaios de placa multiplicado pela área de topo da célula (161,86m x 161,86m ou 26.199m²), estima-se que a liberação de CH₄ pela camada de cobertura, durante o período desta pesquisa, é de 2.720 kg/dia ou 992,80 tonelada/ano, o que em termos volumétricos representa 174,8 m³/h ou 4.195 m³/dia. As emissões totais, correspondendo a área de topo, taludes e bermas da célula, correspondendo a uma área de 74.053m² são de 2.806,70 tonelada/ano. A Figura 6 apresenta o mapeamento das emissões de CH₄ pela camada de cobertura.


Figura 6- Mapeamento da Emissões de CH₄ (kg/m².ano)

As isocurvas de maior valor de fluxo de CH₄ pela camada de cobertura encontram-se nas extremidades do aterro próximo aos drenos D-1, D-2 e D-3 referente aos ensaios A5, A6, A7 e A9 e próximos aos drenos D-14, D-15 e D-16, referente aos ensaios A11, A18 e A19, respectivamente, diminuindo no sentido do centro da Célula nº 1. O ponto atípico encontrado corresponde ao ensaio A9, que apresentou o menor grau de compactação (76%) dos ensaios realizados.

Segundo Mariano (2008) a ocorrência de picos fluxo foi observada em vários estudos realizados (ABICHOU *et al*, 2006, CHANTON *et al*, 2007 e MACIEL, 2003). CHATON *et al* (2007) também observou maiores fluxos nas extremidades do aterro.

ESPESSURA DA CAMADA E CONCENTRAÇÃO DOS GASES NO CONTATO SOLO-RESÍDUO

Em relação à espessura da camada de cobertura pode-se dizer que a mesma apresentou grande variabilidade, indicando que não ocorreu controle topográfico na época de sua execução. Observa-se também que os ensaios



realizados na cota 32,50 (A1, A2, A3 e A4), em geral, apresentaram espessura entre 0,25 a 0,30 m, indicando sua utilização como camada intermediária do aterro. A única exceção corresponde ao ensaio A1 que apresentou espessura de solo de 0,60 m. Os ensaios realizados na cota 35 apresentam espessuras variando de 0,36 a 0,69 m.

Em geral, observam-se concentrações de oxigênio próximo a zero, porém em alguns locais estas concentrações ficaram acima de 10%. Estes valores estão coerentes com o apresentado na literatura onde indica a presença de oxigênio na massa.

Os ensaios A5, A6, A7, A9 e A15 ocorreram às maiores pressões no contato solo-resíduo. As variações de pressões podem ser explicadas como um alívio da pressão no contato solo-resíduo captado pelo equipamento de leitura de pressão.

No ensaio A13 as leituras de pressão no contato solo-resíduo foram sempre negativas, indicando um fluxo inverso no sentido do ambiente externo para a ambiente interno da massa de resíduo depositada.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados de espessura da camada e concentrações dos gases no contato solo-resíduo.

Tabela 2 – Resumo dos ensaios DMPC

Ensaio	Espessura da camada (m)	Data	Concentração Final dos Gases Contato Solo-Resíduo				
			CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ S (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)
A1	0,60	30/03/06	43,0	46,0	0,0	9,5	16,0
A2	0,33	06/04/06	42,0	53,0	0,0	2,9	45,0
A3	0,24	28/04/06	56,0	38,0	13,0	3,0	154,0
A4	0,30	11/05/06	43,0	54,0	4,0	3,1	30,0
A5	0,60	17/10/06	39,0	46,0	110,0	1,9	-
A6	0,52	31/10/06	42,0	52,0	117,0	0,4	-
A7	0,61	09/11/06	39,0	54,0	456,0	0,2	-
A8	0,40	23/11/06	38,0	43,0	0,0	1,4	-
A9	0,44	30/11/06	38,0	50,0	64,0	0,3	-
A10	0,60	12/01/07	44,0	41,0	0,0	1,5	-
A11	0,69	15/01/07	47,0	47,0	17,0	0,9	-
A12	0,38	15/03/07	44,0	47,0	28,0	0,3	-
A13	0,36	30/03/07	41,0	51,0	39,0	0,3	-
A14	0,48	11/04/07	15,5	18,0	4,0	14,7	-
A15	0,41	18/05/07	23,5	27,0	3,0	9,3	-
A18	0,39	19/11/07	17,0	14,8	10,0	12,0	45,0
A19	0,39	19/11/07	17,0	14,8	10,0	12,0	45,0
A20	0,54	28/11/07	29,5	40,0	-	7,2	7,0
A21	0,54	28/11/07	29,5	40,0	-	7,2	7,0

GRANULOMETRIA E CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS) foram encontrados 2 tipos de solo na camada de cobertura, sendo o primeiro uma areia argilosa bem graduada com argila de baixa compressibilidade (SC) e o segundo um solo argila arenosa de baixa plasticidade (CL). A argila presente no solo pode ser considerada inativa, pois em todas as amostras o índice de atividade é menor que 0,75. Observa-se também que os solos argilo-arenosos possuem em geral $IP > 15$, e os solos areno-argilosos possuem IP entre 7 e 15%.

COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Pode-se dizer que de forma geral o solo foi compactado abaixo da densidade seca máxima obtida no ensaio de compactação o que interfere na estrutura do solo e influencia na permeabilidade do mesmo tanto a água quanto ao ar, já que solos com estruturas floculadas apresentam maior contração e permeabilidade que solos com estrutura “dispersa”.

A Figura 7 apresenta os resultados comparativos das densidades secas máximas e a umidade ótima, obtidas nos ensaios de compactação em laboratório, com os pontos de densidade seca e umidade de campo para cada

ensaio onde se observa uma variação entre a compactação do solo em campo e os valores obtidos na compactação tipo Proctor Normal.

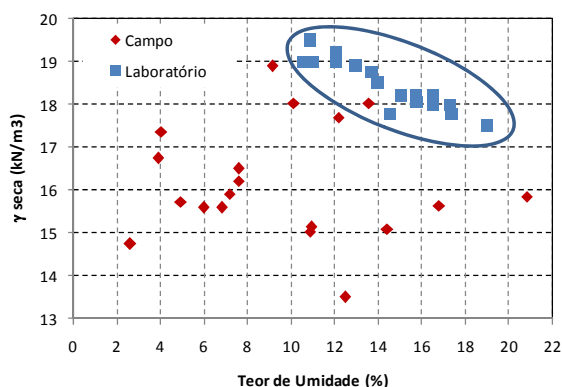


Figura 7 - Comparação das compactações dos ensaios de laboratório e campo

O baixo grau de compactação encontrado sugere que durante a execução da camada de cobertura não ocorreu o controle de compactação e que em geral estes solos foram compactados no ramo seco da curva de compactação, aumentando sua permeabilidade ao gás.

PERMEABILIDADE AO AR

A finalidade de avaliar a permeabilidade ao ar em função do teor de umidade e da saturação do solo é determinar a eficiência de retenção dos gases nos períodos secos e chuvosos, onde o solo do aterro de Aguazinha, pelo fato de não possuir camada vegetal, está condicionado aos fatores ambientais. (Mariano & Jucá, 2009).

Para a determinação da permeabilidade ao ar foram consideradas amostras de solos compactadas em laboratório, porém com densidade seca sempre igual à densidade seca de campo com a finalidade de avaliar a influência da densidade de campo e grau de saturação na permeabilidade ao ar. A umidade inicial do ensaio foi sempre 2% acima de ótima e os ensaios foram realizados na trajetória de secagem do solo.

Após confirmada a validação da Lei de Darcy para fluidos compressíveis submetidos a baixos gradientes de pressão, calculou-se a permeabilidade intrínseca e a permeabilidade ao ar do solo.

A Figura 9 apresenta a variação da permeabilidade ao ar do solo com o grau de saturação da amostra para os ensaios A4, A12 e A14

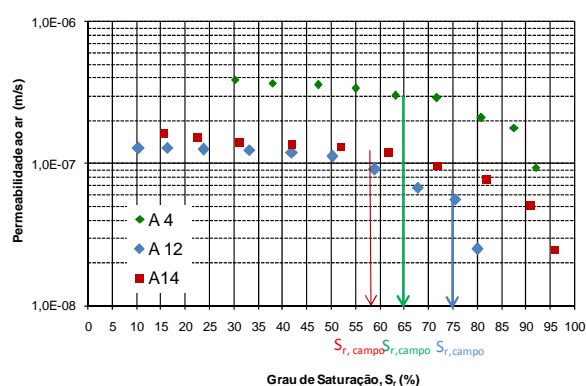


Figura 8- Variação da permeabilidade ao ar versus grau de saturação-ensaio A4, A12 e A14

A curva de permeabilidade ao ar versus grau de saturação pode ser dividida em três fases visíveis. Na 1ª fase ($S_r < 65\%$) ocorrem os valores máximos de K_a para cada solo, indicando que graus de saturação menores que 65% não interferem na permeabilidade ao ar do solo, onde os principais fatores responsáveis por sua redução estariam relacionados a estrutura e densidade de compactação do solo. O 2º trecho da curva (saturação entre 65 e 75%) indica um decaimento lento da permeabilidade com a saturação para os 2 tipos de solos. O 3º



trecho, onde $S_r > 75\%$ indica um decaimento mais brusco da permeabilidade em função da saturação e representa o estado ocluso de ar na estrutura do solo.

A Tabela 3 apresenta o resumo dos ensaios de laboratório e a emissão de gases pela camada de cobertura por ordem crescente de fluxo, para cada ensaio realizado. No qual se observa que, em geral, os solos com maiores graus de compactação e saturação apresentam menores fluxo de CH_4 , independente da espessura da camada de solo de cobertura

Tabela 3 – Resumo dos ensaios de laboratório, espessura e fluxo de CH_4 pela camada de cobertura

ENSAIO	Grau de Compactação (%)	Grau de Saturação (%)	% Finos (USCS)	Espessura da camada (m)	Fluxo pela camada ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{ano}$)
A 2	87%	62%	55%	0,33	0
A 12	99%	74%	55%	0,38	0
A 13	90%	32%	48%	0,36	0
A 15	96%	55%	42%	0,41	0
A 10	96%	17%	54%	0,6	7
A 3	89%	80%	63%	0,24	14
A 4	92%	65%	28%	0,3	14
A 18	83%	19%	30%	0,39	15
A 20	89%	17%	52%	0,54	15
A 1	86%	49%	60%	0,6	24
A 14	104%	57%	52%	0,48	25
A 21	82%	8%	57%	0,54	26
A 6	82%	39%	32%	0,52	31
A 19	80%	22%	35%	0,39	32
A 11	83%	37%	58%	0,69	44
A 8	85%	31%	30%	0,4	49
A 7	82%	26%	32%	0,61	56
A 5	84%	28%	25%	0,6	70
A 9	76%	34%	47%	0,4	146

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O ensaio de placa de fluxo se mostrou um procedimento de fácil utilização e manuseio para a determinação das emissões dos gases pela camada de cobertura. A facilidade de deslocamento e tempo relativamente curto (3hs) do ensaio permitiu sua instalação em diversos locais do aterro.
- O dispositivo de medição de pressão e concentração de gás no contato solo-resíduos se mostrou um procedimento de fácil utilização e forneceu informações bastante úteis para o entendimento do fluxo de gases pela camada de cobertura.
- O mapeamento das emissões de CH_4 pela camada de cobertura mostrou-se uma ferramenta muito útil para a extrapolação dos resultados pontuais obtidos nos ensaios de placa de fluxo e de melhor visualização do comportamento na camada de cobertura do aterro, observando-se menores fluxos no centro da célula e maiores nos bordos da célula. Pode-se dizer que de forma geral o solo da camada de cobertura foi compactado bem abaixo da densidade seca máxima obtida no ensaio de Proctor normal. Este fato sugere que durante a execução da camada de cobertura não ocorreu o controle de compactação. Devido a baixa densidade seca de campo este resultados sugerem também que a camada de cobertura foi compactada no ramo seco da curva de compactação, que representa um solo com estrutura mais floculada com grandes índices de vazios e possível presença de macroporos, aumentando sua permeabilidade na direção vertical de fluxo de gases.
- Em geral, para solos com grau de compactação acima de 90%, o percentual de retenção de CH_4 também foi maior que 90%, indicando uma influência muito forte do grau de compactação da amostra na retenção de CH_4 . Para solos com grau de compactação menor que 90%, outros fatores tornam-se de maior influência para a retenção de metano.



- Os maiores graus de saturação e umidade da camada de cobertura foram determinados nos ensaios realizados próximos a eventos de precipitação pluviométrica. Este fato indica a necessidade de utilização de cobertura vegetal para aumentar a retenção umidade no solo e conseqüentemente diminuir a permeabilidade ao ar.
- Os resultados indicam uma tendência de aumento da retenção dos gases com o aumento do grau de saturação do solo, sugerindo que solos mais úmidos possuem um fluxo de CH₄ menor que os solos mais secos.
- A espessura da camada não apresentou nenhuma relação direta com a emissão de CH₄ pela camada de cobertura, sugerindo que a espessura por si só pode ser considerado um fator secundário na emissão dos gases.
- De maneira geral pode-se dizer que o grau de compactação, pressão no contato solo-resíduo, percentual de finos do solo e grau de saturação de campo são os fatores que mais influenciam na retenção dos gases pela camada de cobertura. A partir dos ensaios analisados também se pode dizer que a espessura da camada é um fator secundário comparativamente com os demais apresentados. Medidas simples como uma melhor compactação do solo podem diminuir a emissão de gases pela camada de cobertura. 3

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem as instituições CNPq, FACEPE/PRONEX, Prefeitura de Olinda e UFPE pelo apoio financeiro e administrativo para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CZEPIEL, P.M., SHORTERB, J.H., MOSHERA, B., ALLWINEC, E., MCMANUSB, J.B., HARRISSA, R.C., KOLBB, C.E., LAMB, B.K (2003). *The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions*. Waste Management 23 593–598. www.elsevier.com/locate/wasman
2. JUCÁ, J.F. T. Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. Porto Alegre. 2003. V Simpósio Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO).
3. KIM, S., TOJO, Y. MATSURO, T. (2008). *Compartment model of aerobic and anaerobic biodegradation in a municipal solid waste landfill*. Waste Management and Research, 25, 6, p. 524-537.
4. LINS, E.M., MACIEL, F.J. E JUCÁ, J.F.T, FRANÇA, I. (2005), *Análise dos impactos ambientais causados pelo biogás de um aterro de resíduos sólidos urbanos*, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
5. MACIEL, F. J. Estudo da Geração Percolação, e Emissão de gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca – PE. Recife. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil.
6. MARIANO, M.O.H, VICTOR D.F, LIMA. L.C.C, CANTILINO, A.C.B, ALVES, M.C.M., JUCÁ J.F.T, BRITO, A.R. (2007). *Estudo Geotécnico e Avaliação da Eficiência De Retenção do Metano pela Camada de Cobertura dos Aterros de Resíduos Sólidos de Muribeca e Aguazinha, Pernambuco*. VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental.
7. MARIANO, M.O.H. (2005). *Avaliação da Biodegradação e Potencial Energético de Aterros de Resíduos Sólidos*. Relatório de Pesquisa. CNPq.
8. MARIANO, M.O.H. (2008) *Avaliação da Retenção de Gases em Camadas de Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil.
9. MARIANO, M.O.H. & JUCÁ, J.F.T. (2008). *Avaliação das Características Geotécnicas da Camada de Cobertura Do Aterro de Resíduos Sólidos de Aguazinha-PE e sua Influencia na Retenção de Biogás*. III Congresso Interamericano de Residuos de AIDIS. Buenos Ayres, Maio, 2009.